

車室空間内の低負荷温調技術の設計に向けた バイタルサインによる温熱的快適感の評価と温調技術

名古屋大学 熱化学プロセス研究室 2016年4月4日

1. 研究の目的

従来の自動車の空調システムでは車室空間全体に向けた空調であるために、快適感を得られる温度に到達するまでに多くの電力、時間が必要となります。また、乗員の快適感を直接制御に取り入れていないため、乗員にとって必ずしも必要としない過剰な冷暖房がなされ、空調のためのエネルギーの低減を図る余地が大きいと考えられます。

そこで本研究では、車室空間内全体を空調するのではなく、人体に必要な熱量を直接供給し、少ない消費電力で速やかに温調して、快適な条件を満たすパーソナル温調技術に着目し、Fig.1に示すような乗員の快適感に合わせた温調の制御手法について検討しました。

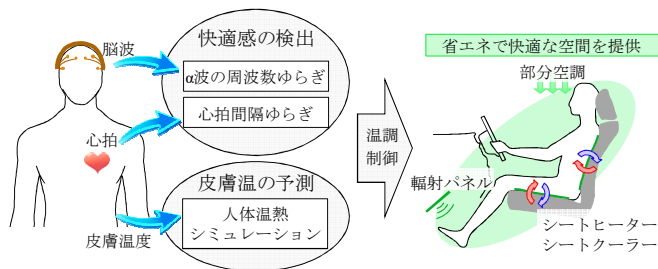


Fig.1 本研究の目指す温調技術

2. バイタルデータと温熱的快適感の相関

本研究ではバイタルセンシングにより温熱的快適感の検出を試みた。人体から測定されるバイタルデータは常に変動しており、そのゆらぎを周波数解析することで人体の様々な状態を評価できる。本研究では脳波から算出される α 波ゆらぎ係数と心拍変動から算出される HF Norm (Normalized HF) に着目した。

これらのバイタルデータと温熱的快適感の相関を検討するため、車室内の温度を変化させた際の脳波と心拍変動を測定した。車室内の温度変化には自動車の空調を利用し、暖房時には 32°C 設定、冷房時には 18°C 設定で風量は最大とした。

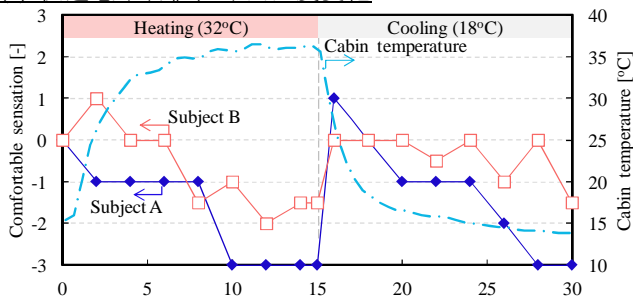
バイタルデータの測定と同時に被験者の快適感を申告させた。申告尺度として不快を-3、快適を+3、無感状態を 0 とし、0.5 刻みで申告させた。快適感申告値の結果を Fig.2-a に示す。空調温度を変更した直後の 0~5 分と 15~20 分において快適もしくは無感であると申告したが、空調が強く効いている 5~15 分と 20~30 分では不快であると申告した。

脳波の α 波ゆらぎ係数の結果を Fig.2-b に示す。 α 波ゆらぎ係数は 1 に近づくほど快適とされる指標であるが、快適感申告値と直接的な相関は見られな

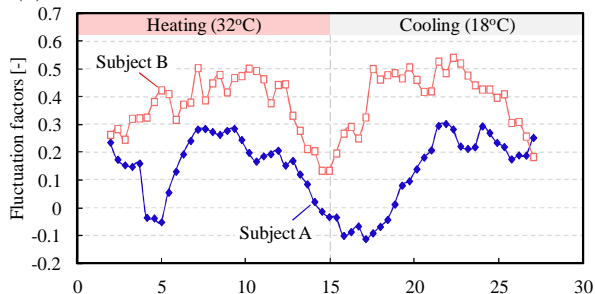
った。しかし、空調温度を変更直後の車室内温度が大きく変化した 0~5 分と 15~20 分でゆらぎ係数の変化が見られた。この結果より、 α 波ゆらぎ係数は周囲の温度変化に影響される指標であると考えられる。

心拍変動の HF Norm の結果を Fig.2-c に示す。HF Norm はリラックス状態であるとき副交感神経が優位となり 1 に近づく指標である。空調温度を変更した直後の 0~5 分と 15~20 分において HF Norm が上昇していること、空調が強く効いている 5~15 分と 20~30 分では HF Norm が低下していることから、快適感申告との相関が見られ、心拍変動は温熱的快適感の評価指標となり得ることが判明した。

(a) 快適感申告値、車内温度変化



(b) 脳波 (α 波ゆらぎ係数)



(c) 心拍変動 (HF Norm)

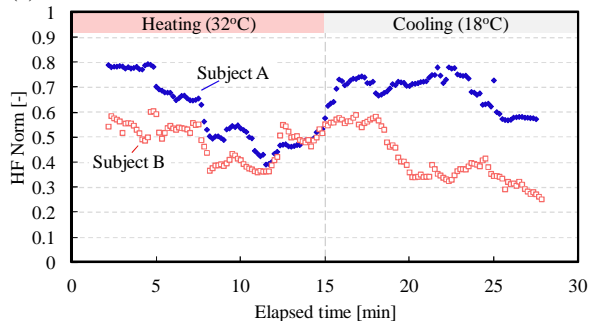


Fig.2 バイタルデータと快適感申告値の相関

3. バイタルセンシングによる空調制御の実証

乗員の快適感に合わせた空調制御の実現に向けて、リアルタイムで解析したバイタルデータによる空調制御を試みた。バイタルデータとして温熱的快適感と相関が見られた心拍変動に加えて皮膚温を測定し

た. 心拍変動から HF Norm をリアルタイムで解析し, その値が2分前のデータと比較して0.1以上低下した時 (Fig.3-b 丸で示した点), その設定温度は不快であると判断し, 設定温度を変更した. 変更する設定温度については, 額の皮膚温が 32°C 以下のときは寒冷状態と判断して設定温度を 1°C 上昇させ, 33°C 以上の時には暑熱状態と判断して設定温度を 1°C 低下させた.

初期条件として 22°C 設定で 30 分以上安静にした後に実験を開始した. 実験開始後, 過暖房の状態を想定して設定温度を 28°C に上昇させ, その後はバイタルデータをもとに空調を制御した.

額の皮膚温は常に 33°C 以上であったことから空調の設定温度は低下させる方向に制御した. 設定温度を 28°C に変更後すぐに被験者は不快と感じ始め, 車室内温度が 29°C 近くまで上昇した 5 分付近で最も不快と感じた. それに伴い HF Norm が 5 分以降で低下したため, 28°C とした設定温度は 15 分間で快適とされる 22°C まで低下した. この設定温度の変化によって測定後半の 10~15 分申告値は快適となった. 以上の結果より, 乗員の快適感に合わせた空調制御が可能であることを実証した.

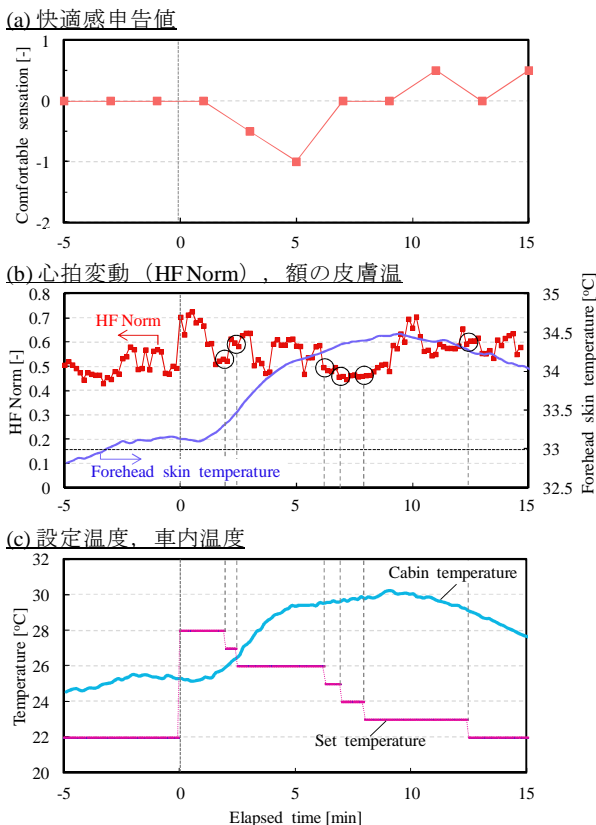


Fig.3 バイタルデータを用いた空調制御

4. 最適な温調制御に向けた人体モデルの開発

前章の実験に加えて, 測定した皮膚温から最適な空調の設定温度の予測が可能となれば, 速やかに快適な空間を創造可能となる. そこで本研究では温調使用時の皮膚温の変化を予測するため, 人体温熱生

理モデルの作成を試みた. JOS モデルをもとに作成した人体温熱生理モデルの概要を Fig.4 に示す.

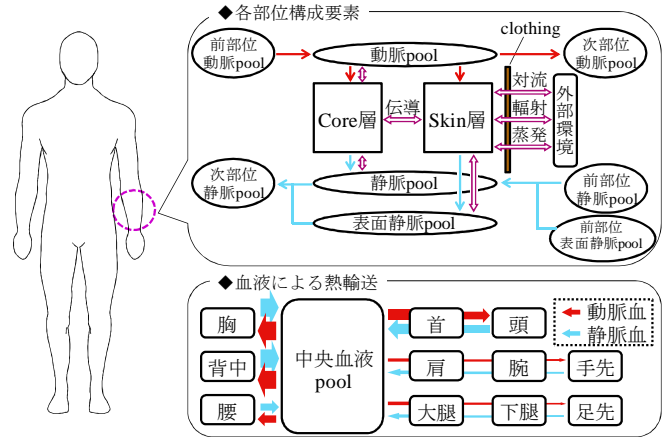


Fig.4 使用した温熱生理モデルの概要

評価には以下の式から算出される平均皮膚温を用いた. 平均皮膚温の温熱的快適域は 33~34°C である.

$$(\text{平均皮膚温} [^{\circ}\text{C}]) = \sum \left\{ \frac{(\text{各部位の表面積} [\text{m}^2])}{(\text{全身の表面積} [\text{m}^2])} \right\} \times (\text{各部位の皮膚温} [^{\circ}\text{C}])$$

環境温度変化時の皮膚温の測定実験により, 本モデルの平均皮膚温は実験値と比較して 0.5°C 以内の差に収まり, モデルの有用性を確認した.

本モデルを用いて, 初期の平均皮膚温から快適域である 33.5°C に一定時間で到達するために必要な空調温度を試算した結果を Fig.5 にまとめた. 短時間で快適な温度に到達させるためには厳しい空調温度が必要ということが確認でき, 本モデルを用いることで最適な空調の設定温度が算出可能となった.

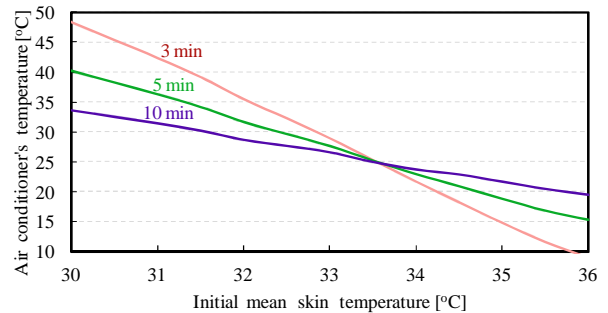


Fig.5 快適な条件に到達するために必要な設定温度

5. まとめ

心拍変動の測定により温熱的快適感を評価可能であり, 作成した人体モデルにより測定した皮膚温から空調の最適な設定温度を予測可能であることが判明しました. これらを組み合わせることで乗員に合わせた温調制御を実現することが可能と期待されます.

問合せ先:

名古屋大学 大学院工学研究科 小林敬幸

Phone 052-789-2733, e-mail: techinfo@energy.gr.jp